

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Федотенкова Григория Валерьевича «**Нестационарное контактное взаимодействие упругих оболочек и сплошных тел**», представленную к защите на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Диссертационная работа посвящена исследованию процессов нестационарного контактного взаимодействия цилиндрических и сферических оболочек с деформируемыми основаниями, другими оболочками и абсолютно твёрдыми телами.

Актуальность темы диссертации обусловлена широким применением оболочечных элементов в конструкциях современной техники, большим вниманием исследователей, уделяемым изучению волновых процессов в тонкостенных элементах конструкций, необходимостью разработки адекватных математических и компьютерных моделей, описывающих волновую динамику упругих оболочек и сплошных деформируемых тел в процессе их нестационарного контактного взаимодействия. В настоящее время имеется большое количество работ, посвящённых решению статических и стационарных контактных задач. Нестационарные контактные задачи относятся к одним из наименее исследованных проблем механики деформируемого твёрдого тела.

Целями диссертационной работы являются: создание математических моделей процессов нестационарного контактного взаимодействия, разработка математических постановок, построение методов и подходов к решению нестационарных контактных задач, решение новых плоских, осесимметричных и пространственных нестационарных контактных задач для тонких оболочек и упругих тел.

Среди результатов, определяющих **научную новизну** работы, следует отметить нестационарные функции влияния для цилиндрических и

Отдел документационного
обеспечения МАИ 1.
«11» 10 2021 г.

сферических оболочек, в том числе, с учётом наличия в них упругого заполнителя, разрешающие системы уравнений нестационарных контактных задач с подвижными границами области взаимодействия, разработку численно-аналитических методов решения нового класса нестационарных контактных задач для оболочек и упругих тел.

Степень достоверности и обоснованности научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, обеспечивается строгой и корректной математической постановкой начально-краевых задач, корректной постановкой условий контакта, использованием хорошо зарекомендовавших себя математических моделей теории оболочек и известных уравнений динамической теории упругости, применением к решению строгих математических методов, сопоставлением полученных результатов с результатами других авторов, совпадением решений, построенных автором с помощью различных методов, а также анализом сходимости полученных результатов.

Теоретическая ценность работы определяется тем, что в ней впервые построен ряд новых функций влияния для оболочек, имеющих важное значение для исследования процессов распространения нестационарных волн и открывающих возможность построения эффективных аналитических и численно-аналитических методов исследования широкого спектра проблем нестационарной динамики оболочек, в том числе нестационарных контактных задач.

Практическая значимость работы состоит в построении оригинальных методов и алгоритмов решения, которые могут быть использованы при анализе динамических процессов в тонкостенных элементах конструкций, находящихся в условиях контактного взаимодействия. Полученные решения могут быть использованы в качестве эталонных при разработке численных методов и отладке алгоритмов решения нестационарных задач для деформируемых тел и элементов конструкций, имеющих более сложную геометрию.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы и достоверность полученных результатов, представлены положения, выносимые на защиту, цели и научная новизна работы, её практическая значимость. Здесь же указаны методы, используемые при решении поставленных задач.

Первая глава посвящена постановке нестационарных контактных задач для оболочек и деформируемых твёрдых тел. В первом разделе представлен обзор состояния научных проблем, связанных с тематикой исследования. Во втором разделе даны уравнения движения упругих тел, представляющие собой уравнения и соотношения динамической теории упругости. В третьем разделе представлены уравнения модели С.П. Тимошенко, используемые для описания движения оболочек. Вопросы постановки условий контакта рассмотрены в четвёртом разделе. Пятый раздел посвящён разрешающим интегральным уравнениям, которые вытекают из принципа суперпозиции и граничных условий. Ядрами интегральных операторов в этих уравнениях являются функции влияния для взаимодействующих тел. Эти функции представляют собой решения отдельных задач о воздействии на деформируемые тела специального вида нагрузки. Такой подход позволяет построить интегральные связи перемещения и напряжения в зоне контакта. В шестом разделе этой главы представлены известные выражения функций влияния для упругого полупространства в плоском и осесимметричном случаях.

Во **второй главе** даны постановки и построены решения нестационарных задач о функциях влияния для упругих оболочек. В первом и втором разделах описаны методы построения функций влияния для цилиндрической оболочки. Предложено два подхода к решению этой задачи. Первый основан на разложении в ряды Фурье, а второй – на связи интегрального преобразования Фурье с рядом на переменном интервале.

При этом и в первом и во втором подходе дополнительно используется интегральное преобразование Лапласа по времени. Показаны преимущества использования второго подхода к решению этой задачи. В третьем разделе решена нестационарная задача о движении цилиндрической оболочки под воздействием внешнего давления. В этой же главе в пятом разделе построена пространственная нестационарная функция влияния для цилиндрической оболочки. В шестом разделе приведено сравнение предложенного аналитического метода построения функций влияния с численными методами. Показаны преимущества предложенного подхода. В седьмом разделе построена функция влияния для цилиндрической оболочки с упругим наполнителем. Нестационарная задача о воздействии внешнего давления на оболочку с наполнителем рассмотрена в восьмом разделе.

Третья глава посвящена функциям влияния для сферической оболочки. Поставлены и решены соответствующие осесимметричная и пространственная задачи. Разделы 1-3 посвящены построению и исследованию пространственной нестационарной функции влияния. Предложен оригинальный подход, позволяющий свести задачу к двум независимым подсистемам уравнений, решения которых находятся с помощью разложений в ряды по сферическим функциям и интегрального преобразования Лапласа по времени. В четвёртом разделе рассмотрена задача о пространственном нестационарном движении сферической оболочки. Пятый, шестой и седьмой разделы посвящены решению аналогичных задач в осесимметричной постановке, в том числе с учётом наличия в оболочке упругого наполнителя.

В четвёртой главе найдены решения новых двумерных нестационарных задач для цилиндрической оболочки и упругой полуплоскости (разделы 4.1-4.3) и для сферической оболочки и упругого полупространства (разделы 4.4-4.5). При этом, для уточнения положения границ области контакта с учётом деформируемости граничных поверхностей разработана и реализована специальная итерационная

процедура. Её подключение к решению позволило не только уточнить положения границ, но и выявить эффекты частичного отслоения граничных поверхностей в зоне контактного взаимодействия. В шестом разделе этой главы решены нестационарные контактные задачи для двух цилиндрических или сферических оболочек с упругими заполнителями.

В пятой главе даны постановка, система разрешающих уравнений и построено решение пространственной нестационарной контактной задачи для тонкой упругой круговой цилиндрической оболочки и абсолютно твёрдого ударника, ограниченного гладкой выпуклой поверхностью. Разработан и реализован итерационный алгоритм решения, проведено параметрическое исследование процесса нестационарного контактного взаимодействия.

В заключении представлено описание основных результатов диссертационного исследования.

По диссертации и автореферату имеются следующие **замечания**.

1. При построении функции влияния для оболочек с упругим заполнителем использован только один тип условий контакта, а именно, свободное проскальзывание. Конечно, реализация контакта с трением в нестационарных задачах привносит значительные трудности, но можно было рассмотреть другой предельный случай – контакт в условиях жесткого сцепления, однако в диссертации это не сделано.
2. В решении нестационарной контактной задачи для сферической оболочки и упругого полупространства следовало бы, по аналогии с задачей для цилиндрической оболочки, рассмотреть случаи различных характеристик материалов оболочки и упругой среды.
3. В пятой главе при анализе результатов решения пространственной нестационарной контактной задачи варьируется только начальная скорость ударника. Следовало провести более широкое параметрическое исследование, оценив влияние и других

параметров, например, материала оболочки и отношения её толщины к радиусу, массы ударника, геометрии его граничной поверхности.

4. В автореферате представлены только разрешающие уравнения нестационарных контактных задач. Однако прежде следовало привести уравнения движения упругих тел и оболочек, или хотя бы обозначить теорию, используемую для описания движения оболочек.

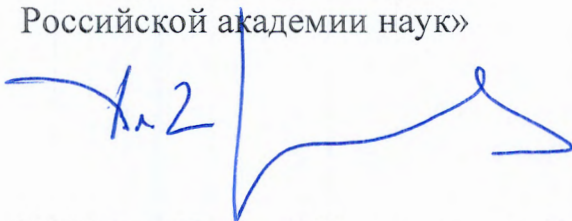
Несмотря на указанные выше замечания, диссертационная работа весьма полезна и несомненно будет востребована как в фундаментальном, так и в прикладном отношении, поскольку содержит новые теоретические результаты и прикладные методы, которые можно непосредственно применять в практических целях.

Основные результаты диссертации опубликованы в 114 научных работах, из которых 40 научных статей опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, из них 27 работ входят в международные реферативные базы данных и системы цитирования WoS и Scopus. Автором получено 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ. Результаты научной работы были представлены на различных научных мероприятиях, как в России, так и за рубежом.

В целом можно констатировать, что диссертационная работа Федотенкова Григория Валерьевича является законченным научным исследованием, результаты которого имеют важное значение для развития механики контактного взаимодействия. Как диссертация, так и автореферат соответствуют всем требованиям положения «О порядке присуждения учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 года. Совокупность теоретических положений и полученных прикладных результатов диссертации можно квалифицировать как научное достижение в области

нестационарных задач механики деформируемого твёрдого тела, достойное присуждения автору, Федотенкову Григорию Валерьевичу, учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 0.02.04 – Механика деформируемого твёрдого тела.

Официальный оппонент,
доктор физико-
математических наук,
профессор, директор
Института проблем
машиностроения РАН –
филиала Федерального
государственного
бюджетного научного
учреждения «Федеральный
исследовательский центр
Институт прикладной физики
Российской академии наук»



Ерофеев Владимир Иванович

06.10.2021

603024, г. Нижний Новгород, ул. Белинского, д.85

Телефон: (831) 432-03-00.

E-mail: erof.vi@yandex.ru.

Подпись Ерофеева Владимира Ивановича удостоверяю.

Учёный секретарь ИГиМ РАН,

к.т.н., доцент



Е.А. Мотова.